Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 1, Spring 2023, p. 1-10

Response of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) Ecotypes to Drought Stress during Germination Stage at Low Temperature

E. Boroumand Rezazadeh[1], A. Nezami[2*], Z. Khorasani[3], M. Khajeh Hosseini[4]

Received: 11-06-2017 Revised: 27-06-2018 Accepted: 02-07-2018	**How to cite this article:** Boroumand Rezazadeh, E., Nezami, A., Khorasani, Z., & Khajeh Hosseini, M. (2023). Response of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) Ecotypes to Drought Stress during Germination Stage at Low Temperature. *Iranian Journal of Field Crops Research, 21*(1), 1-10. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2020.38273

Introduction

Cumin is one of the most important medicinal plants in Iran and is widely used in food, health and beauty industries due to its antioxidant and antibacterial properties. Yield of some crops are higher in autumn planting compared to spring. However, low temperature and inappropriate distribution of precipitation are of factors affecting seedling emergence and establishment. So it seems that seeds with higher germination also have better emergence and establishment producing more vigorous seedlings in further growth stages. So, to success in autumn-planting of cumin, it is necessary to have ecotypes with appropriate and even emergence in low temperature and water restricted conditions. Since water is of high paramount importance in germination and lower water potentials lead to lower accessibility of water to seeds, the aim of this experiment was to study seed germination response of different cumin ecotypes to low water potentials.

Materials and Methods

This study was conducted to determine the germination of six cumin ecotypes under drought stress and low temperature conditions. Treatments comprised of six cumin ecotypes (Torbat-e-Heydarieh, Khaf, Sabzevar, Qaen, Quchan and RZ19) and seven water potentials (0, -1, -2, -3, -4, -5 and -6 bar) induced by PEG6000 solution according to Michel B. E. and Kaufmann (1973). Distilled water was used for control. Seeds were disinfected by sodium hypochlorite (10%) and fungicide and were rinsed with distilled water. 25 seeds were placed in each petri dish and were incubated in 13°C after PEG solution or distilled water was added. Germinated seeds were recorded daily and germination percentage and rate, plumule and radicle length was determined at the end of the incubation. Ecotype ranking was also performed to determine the most tolerant ecotypes to drought stress. Statistical analysis was done using MSTAT-C and LSD test was used for mean comparison.

Results and Discussion

This study results indicated that water potentials was significantly affected all studied traits ($p<0.05$) in a way that germination percentage and rate and plumule and radicle length decreased as water potential decreased to -6 bar. Maximum germination percentages (61%) was obtained in control. Significant differences were also found among cumin ecotypes for all traits. Khaf and Torbat-e-Heydarieh had the highest germination percentage (25% and 23%, respectively). Decreasing water potential from 0 to the -2 bar, caused 69% decrease in germination percentage of Quchan ecotype whereas reduction of 43% and 57% was found in Qaen and Sabzevar ecotypes, respectively. Difference in germination percentage among genotypes may be due to the different water absorption by them. Ecotypes had different germination rate in water potentials ($P\leq0.01$). Although germination

1- PhD. in Crop Ecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- MSc. in Agronomy, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
4- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: nezami@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2020.38273

rate was negatively affected by decreasing water potential, percentage of reduction was different among ecotypes in a way that Torbat-e-Heydarieh and Khaf showed the lowest (61 and 67%) and Quchan and RZ19 the highest reduction of germination rate (86%) in -4 bar compared to control (0 bar). Plumule and radical length were decreased as drought stress was increased . Decreasing water potential from 0 o -4 bar caused a 76% reduction in radical length. Significant difference was found among ecotypes according to radical length in a way that Khaf and Quchan had the highest and lowest radical length, respectively.

Conclusion

On the basis of ecotypes ranking for evaluated traits, Khaf and Torbat-e-Heydarieh indicated more tolerance to drought stress whereas Quchan was found as a sensitive ecotype.

Keywords: Autumn planting, Cold, Plumule, Radicle

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۱، شماره ۱، بهار ۱٤۰۲، ص ۱۰-۱

واکنش اکوتیپ‌های زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی تحت شرایط دمای پایین

الهه برومند رضازاده[۱]، احمد نظامی[۲]*، زینب خراسانی[۳]، محمد خواجه حسینی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۱

چکیده

نوسان در ریزش نزولات جوی و کاهش دما، جوانه‌زنی بذر زیره سبز را در کاشت پاییزه تحت تأثیر قرار می‌دهد. هدف از این تحقیق، بررسی جوانه‌زنی شش اکوتیپ زیره سبز در شرایط تنش خشکی در دمای کم بود. تیمارها شامل شش نمونه زیره سبز (پنج اکوتیپ تربت حیدریه، خواف، سبزوار، قائن، قوچان و رقم RZ19 هندی) و هفت سطح پتانسیل آب (صفر، ۱-، ۲-، ۳-، ۴-، ۵- و ۶- بار) بود. بذرها در داخل پتری‌دیش و تحت شرایط دمایی ۱۳ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سطوح خشکی با استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ ایجاد شد. صفات اندازه‌گیری‌شده شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه بود. نتایج نشان داد که اثر پتانسیل آب بر همه صفات مورد مطالعه معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بود و بیشترین و کمترین درصد جوانه‌زنی به‌ترتیب در پتانسیل‌های صفر و ۶- بار مشاهده شد. اکوتیپ‌های زیره سبز در تمام صفات مورد بررسی با هم تفاوت معنی‌داری (P≤۰/۰۵) داشتند و بیشترین درصد جوانه‌زنی در اکوتیپ‌های خواف و تربت حیدریه مشاهده شد. در اکوتیپ قوچان کاهش پتانسیل آب از صفر به ۲- بار باعث کاهش ۶۹ درصدی جوانه‌زنی شد، در حالی‌که در دو اکوتیپ قائن و سبزوار این کاهش به‌ترتیب حدود ۴۳ و ۵۷ درصد بود. کاهش پتانسیل آب همچنین تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه اکوتیپ‌های زیره داشت. با توجه به رتبه‌بندی اکوتیپ‌ها بر اساس صفات مورد بررسی، اکوتیپ‌های خواف و تربت حیدریه بهترین امتیاز را به خود اختصاص دادند و اکوتیپ قوچان در پایین‌ترین رتبه قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: ریشه‌چه، ساقه‌چه، سرما، کاشت پاییزه

مقدمه

زیره سبز گیاهی است متعلق به تیره چتریان[۵] که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی اهلی در کشور ما شناخته شده است. این گیاه علاوه بر داشتن خواص دارویی، دارای اسانسی روغنی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضد باکتریایی است که در صنایع غذایی، بهداشتی و آرایشی کاربردهای فراوانی دارد. ایران یکی از بزرگ‌ترین صادرکنندگان زیره سبز بوده و بخش عمده‌ای از تولید این گیاه در استان خراسان صورت می‌گیرد (Kafi *et al.*, 2006).

تحقیقات نشان داده است که تولید و عملکرد برخی گیاهان در کشت پاییزه بیشتر از کاشت بهاره است، با این وجود، کاهش دما و همین‌طور پراکنش نامناسب نزولات جوی از جمله عواملی هستند که سبز شدن و استقرار گیاه را در این شرایط تحت تأثیر قرار می‌دهند (Nezami *et al.*, 2010). از این‌رو جهت موفقیت در کاشت پاییزه زیره سبز، وجود اکوتیپ‌هایی که بتوانند سبز خوب و یکنواختی را در شرایط کمبود آب و کاهش دما در پاییز داشته باشند ضروری است.

اولین مرحله‌ای که در کشت پاییزه زیره سبز ممکن است با تنش کمبود آب (به دلیل نوسان در ریزش نزولات جوی) و حتی در اغلب موارد با کاهش دما مواجه شود، مرحله جوانه‌زنی است (Kafi *et al.*, 2006). لذا به نظر می‌رسد بذرهایی که در این شرایط جوانه‌زنی بهتری داشته باشند در مراحل بعدی، استقرار و درصد سبز مناسب‌تری خواهند داشت و نیز گیاهچه‌هایی با بنیه بهتر و سیستم ریشه‌ای قوی‌تری تولید خواهند کرد (Jefferies, 1994).

۱- دکتری زراعت- اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: nezami@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2020.38273
5- Apiaceae=Umbelliferae

آب یکی از عوامل مهم در شروع جوانه‌زنی بوده و کاهش پتانسیل اسمزی و ماتریک سبب کاهش میزان دسترسی بذر به آب می‌گردد (Willenborg *et al*., 2005). لذا پتانسیل آب خاک تأثیر مستقیمی بر سرعت جذب آب و جوانه‌زنی بذر داشته و کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و نیز کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت تأثیر پتانسیل‌های منفی حاصل از اعمال تنش خشکی با مواد مختلف، در آزمایشات متعدد نشان داده شده است (Boroumand Rezazadeh & Koocheki, 2005; Ghavami *et al*., 2004; Mut & Akay, 2010). در مطالعات مربوط به اثر تنش خشکی بر جوانه‌زنی در شرایط کنترل‌شده، استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول به دلیل عدم سمیت و نفوذ در بافت گیاه و نیز ایجاد محلولی دارای شرایط مشابه طبیعی بیشترین کاربرد را پیدا کرده است (Jajarmi, 2012). مطالعات نشان داده است که درصد جوانه‌زنی بذرها در محلول پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ با درصد جوانه‌زنی در خاک با همان پتانسیل آب تقریباً برابر بوده است (Emmerich & Hardgree, 1990).

کبیری و همکاران (Kabiri *et al*., 2012) در آزمایش خود روی سیاهدانه (*Nigella sativa*) مشاهده کردند که در اثر تنش خشکی به دلیل کاهش جذب آب توسط بذر، کلیه شاخص‌های جوانه‌زنی کاهش یافت. برومند رضازاده و کوچکی (Boroumand Rezazadeh & Koocheki, 2005) در آزمایشی با استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ روی گیاهان زنیان (*Trachyspermum ammi*)، رازیانه (*Foeniculum vulgare*) و شوید (*Anethum graveolens*) مشاهده کردند که با افزایش شدت تنش، سرعت و درصد جوانه‌زنی و نیز طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاهان کاهش یافت. نتایج اعمال سه تیمار خشکی روی شش رقم کلزا (*Brassica napus*) نیز نشان داد که با افزایش تنش، سرعت و درصد جوانه‌زنی کاهش پیدا کرد (Andalibi *et al*., 2005). همچنین بررسی جوانه‌زنی بذر ژنوتیپ‌های مختلف یولاف (*Avena sativa* L.) با اندازه متفاوت در شرایط خشکی نشان داد که کاهش پتانسیل اسمزی سبب کاهش درصد نهایی جوانه‌زنی گردید (Mut & Akay, 2010).

در آزمایشی با استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰، سطوح پتانسیل ۰، ۴-، ۸-، ۱۲-، ۱۶- بار بر روی ارقام دانه درشت و دانه ریز عدس (*Lens culinaris* Medik.) اعمال و مشاهده شد که با کاهش پتانسیل اسمزی، میزان جذب آب توسط بذر، درصد کل جوانه‌زنی و میزان رشد ریشه‌چه کاهش معنی‌داری یافت. نتایج همچنین حاکی از آن بود که در تمام سطوح پتانسیل، عدس‌های دانه ریز، جوانه‌زنی بهتری از عدس‌های دانه درشت داشتند و جوانه‌زنی هر دو رقم عدس در سطح ۱۶- بار شدیداً کاهش یافت. در این بررسی پتانسیل ۱۲- بار بهترین سطح برای شبیه‌سازی خشکی در ارقام عدس و تفکیک تحمل به تنش آن‌ها بود و طول ریشه‌چه بهترین شاخص برای مقایسه تحمل ارقام به تنش خشکی ذکر شد (Bukhtiar & Shaykra, 1995). عبدی و همکاران (Abdi *et al*., 2015) با بررسی سطوح تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی بذر ارقام و لاین‌های مختلف گندم (*Triticum aestivum* L.) مشاهده کردند که درصد و سرعت جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه با افزایش شدت تنش خشکی کاهش یافت. در آزمایش ایشان در شرایط تنش، طول ساقه‌چه بسیار بیشتر از طول ریشه‌چه تحت تأثیر قرار گرفت و لذا این پژوهشگران اظهار داشتند که طول ریشه‌چه می‌تواند به‌عنوان یک صفت قابل اطمینان در برنامه‌های اصلاحی به‌کار برده شود.

قجری و زینلی (Ghajari & Zeinali, 2003) با اعمال پتانسیل‌های ۰، ۱-، ۲-، ۴-، ۶-، ۸- و۱۰- بار بر روی دو رقم پنبه (*Gossypium herbaceum*) مشاهده کردند که با افزایش تنش خشکی، درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. در پتانسیل ۱۰- بار به علت شدت تنش هیچ‌یک از بذرها قادر به جوانه‌زنی نبودند و در پتانسیل ۸- بار هیچ‌یک از بذرهای جوانه‌زده قادر به رشد نبوده و نتوانستند به گیاهچه تبدیل شوند. با افزایش تنش خشکی، سرعت جوانه‌زنی نیزکاهش یافت. نتایج بررسی جوانه‌زنی بذور حقیقی سیب‌زمینی (*Solanum tuberusum* L.) نیز حاکی از تأخیر در جوانه‌زنی بذرها در نتیجه کاهش پتانسیل آب بود (Alvarado & Bradford, 2002).

اغلب آزمایش‌های انجام شده بر روی جوانه‌زنی در شرایط کنترل‌شده و شرایط دمایی مناسب انجام گرفته‌اند، در صورتی‌که در کشت پاییزه علاوه بر پراکنش نامناسب نزولات جوی، کاهش دما نیز ممکن است بر جوانه‌زنی بذر گیاه تأثیر داشته باشد، لذا این آزمایش با هدف مطالعه اثر پتانسیل آب بر جوانه‌زنی تعدادی از اکوتیپ‌های زیره سبز در شرایط دمای پایین اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور تعیین اثر سطوح مختلف خشکی بر روی جوانه‌زنی بذور زیره سبز، آزمایشی در دو مرحله به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. در مرحله اول بذر شش نمونه زیره سبز (شامل پنج اکوتیپ خواف، قاین، تربت حیدریه، سبزوار و قوچان و رقم RZ19 هندی) در معرض پتانسیل‌های صفر، ۳-، ۶-، ۹-، ۱۲- و ۱۵- بار قرار گرفتند. با توجه به این‌که در این مرحله بذور تنها تا سطح ۳- بار جوانه‌زنی داشتند و در سایر پتانسیل‌ها جوانه‌زنی مشاهده نشد، لذا در مرحله بعدی بذور مذکور در معرض هفت پتانسیل آب (۰، ۱-، ۲-، ۳-، ۴-، ۵-، ۶- بار) قرار داده شدند و بنابراین فقط داده‌های مرحله دوم در این گزارش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

پتانسیل‌های آب با استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ طبق دستورالعمل میچل و کافمن (Michel & Kaufmann, 1973) ایجا

شد. برای پتانسیل صفر از آب مقطر استفاده شد. بذرهای مورد آزمایش که از محصول زیره تولیدی همان سال آزمایش تهیه شده بود، به‌ترتیب با هیپوکلریت سدیم (وایتکس ۰/۵ درصد) و قارچ‌کش بنلیت دو در هزار، هر کدام به مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی و سپس با آب مقطر آب‌شویی شدند. تعداد ۲۵ عدد بذر هر اکوتیپ در داخل پتری‌دیش با ابعاد ۱۰ سانتی‌متر قرار گرفت. به هر پتری‌دیش حدود دو سی‌سی از محلول حاوی پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ بر اساس پتانسیل مورد نظر اضافه شد و سپس به مدت ۲۱ روز در ژرميناتور در درجه حرارت ۲±۱۳ درجه سانتی‌گراد (بر اساس میانگین دمای هوای پاییز در مشهد) قرار داده شد. در دوره آزمایش، تعداد بذرهای جوانه‌زده به‌طور روزانه ثبت و درصد جوانه‌زنی در انتهای روز بیست و یکم محاسبه گردید. برای محاسبه درصد جوانه‌زنی، بذوری جوانه زده تلقی شدند که حداقل دارای سه میلی‌متر ریشه‌چه باشد. در انتهای آزمایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاهچه‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی از روابط ۱و ۲ استفاده شد.

(۱) ۱۰۰×(تعداد کل بذور/تعداد بذر جوانه زده تا روزi)=درصد جوانه‌زنی

(۲) (روز تا اولین شمارش/ تعداد بذر جوانه‌زده)= سرعت جوانه‌زنی
(روز تا آخرین شمارش/تعداد بذر جوانه‌زده) + ...+

رتبه‌بندی اکوتیپ‌ها به این صورت انجام شد که به گروهی از میانگین‌ها که در آزمون دانکن حرف a قرار می‌گیرند رتبه ۱، به گروه ab رتبه ۱/۵، به گروه abc رتبه ۱/۶۶، به گروه abcd رتبه ۱/۷۵ و به گروه b رتبه ۲ و ... تعلق گرفته، سپس رتبه‌ها با یکدیگر جمع و در نهایت رتبه نهایی هر ژنوتیپ محاسبه می‌شود، پایین‌تر بودن رتبه یک ژنوتیپ نشان‌دهنده تحمل بیشتر به شرایط خشکی است (Kafi *et al.*, 2005).

محاسبات آماری و رسم نمودار به‌ترتیب با استفاده از نرم‌افزارهای MSTAT-C و Excel انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی: اثر پتانسیل آب بر درصد جوانه‌زنی معنی‌دار ($P\leq0/01$) بود (جدول ۱) و با کاهش پتانسیل آب کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین درصد جوانه‌زنی در پتانسیل صفر و کمترین آن در ۶- بار مشاهده گردید. درصد جوانه‌زنی تا پتانسیل ۳- بار روندی خطی داشت و با شیب ۱۷/۷ درصد به‌ازای افزایش هر واحد پتانسیل آب کاهش یافت، در صورتی‌که در پتانسیل‌های کمتر از ۳- بار کاهش درصد جوانه‌زنی، حدود ۲/۷ درصد به‌ازای هر واحد کاهش پتانسیل آب بود (شکل ۱). اکوتیپ‌ها از نظر درصد جوانه‌زنی با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ($P\leq0/01$) داشتند (جدول ۱)، به‌طوری‌که اکوتیپ‌های خواف و تربت حیدریه بیشترین و قوچان کمترین درصد جوانه‌زنی را دارا بودند (جدول ۳). اثرات متقابل پتانسیل آب و ژنوتیپ بر درصد جوانه‌زنی نیز معنی‌دار ($P\leq0/01$) بود. کاهش پتانسیل آب از صفر به ۲- بار در اکوتیپ قوچان باعث کاهش ۶۹ درصدی جوانه‌زنی شد، در حالی‌که در دو اکوتیپ قائن و سبزوار، این کاهش در محدوده پتانسیل ذکر شده به‌ترتیب حدود ۴۳ و ۵۷ درصد بود (جدول ۴).

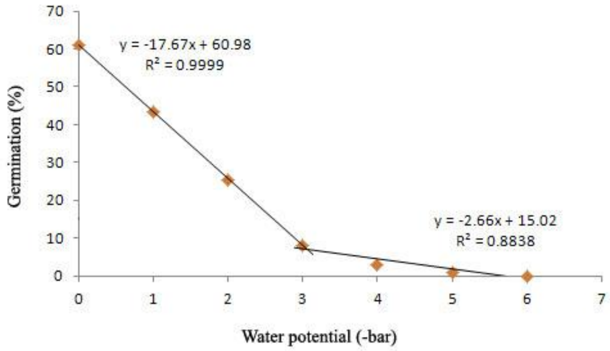
جدول ۱- منبع تغییرات، درجه آزادی و میانگین مربعات (MS) صفات مرتبط با جوانه‌زنی اکوتیپ‌های زیره سبز

Table 1- Source of variations, degrees of freedom and mean squares of seed germination criteria in cumin

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ساقه‌چه Plumule length	طول ریشه‌چه Radicle length
اکوتیپ Ecotype	5	268.14**	0.91**	1.44**	2.98**
پتانسیل Potential	6	13756.28**	81.04**	43.58**	99.52**
اکوتیپ × پتانسیل Ecotype× Potential	30	68.90**	1.25**	0.55**	0.72**
خطا Error	126	0.379	0.11	0.01	0.01
ضریب تغییرات CV (%)	-	3.0	15.8	4.8	3.1

**: معنی‌دار در سطح یک درصد

**: Significant at %1 level of probability



شکل ۱- اثر پتانسیل آب بر درصد جوانه‌زنی زیره سبز

Figure 1- Effects of water potential on seed germination percentage in cumin

جدول ۲- اثر پتانسیل آب بر سرعت جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه و ریشه‌چه اکوتیپ‌های زیره سبز

Table 2- Seed germination rate, plumule and radicle length in cumin ecotypes as affected by water potential

پتانسیل (بار) Potential (bar)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (number.day^{-1})	طول ساقه‌چه Plumule length (cm)	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)
0	5.0	3.4	5.4
-1	3.7	2.8	4.3
-2	2.6	2.2	3.0
-3	2.0	1.5	2.3
-4	1.1	0.8	1.5
-5	0.2	0.0	0.1
-6	0.0	0.0	0.0
LSD (0.05)	0.2	0.04	0.04

عکس‌العمل متفاوت درصد جوانه‌زنی اکوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی، احتمالاً مربوط به تنوع ژنتیکی اکوتیپ‌ها از نظر جذب آب بوده است. در شرایط محدودیت آب، سرعت و میزان جذب آب و درنتیجه هیدرولیز و انتقال کربوهیدرات‌ها و به دنبال آن درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Lobato *et al.*, 2008). تفاوت درصد جوانه‌زنی بین ژنوتیپ‌های مختلف در مطالعات دیگر نیز نشان داده شده است (Jafarnezhad *et al.*, 2009; Andalibi, 2005; Jajarmi, 2012).

سرعت جوانه‌زنی: اثر سطوح مختلف پتانسیل آب بر سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار (P≤۰/۰۱) بود (جدول ۱) و با کاهش پتانسیل آب، سرعت جوانه‌زنی نیز کاهش یافت به نحوی‌که در پتانسیل صفر بیشترین و در پتانسیل‌های ۵- و ۶- بار کمترین سرعت جوانه‌زنی مشاهده شد (جدول ۲). کاهش سرعت جوانه‌زنی در پتانسیل ۳- و ۶- بار نسبت به حالت عدم تنش به‌ترتیب حدود ۶۲ و ۱۰۰ درصد بود. اکوتیپ‌ها نیز از نظر سرعت جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری (P≤۰/۰۱) داشتند (جدول ۳) و بیشترین سرعت جوانه‌زنی در اکوتیپ تربت حیدریه مشاهده شد. اثر متقابل پتانسیل آب و ژنوتیپ بر سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار (P≤۰/۰۱) بود. با وجود کاهش سرعت جوانه‌زنی تحت تأثیر کاهش پتانسیل آب، درصد کاهش این صفت بسته به اکوتیپ‌ها متفاوت بود، به نحوی‌که در پتانسیل ۴- بار اکوتیپ تربت حیدریه و خواف کمترین کاهش (به‌ترتیب ۶۱ و ۶۷ درصد) و اکوتیپ قوچان و رقم RZ19 بیشترین کاهش (حدود ۸۶ درصد) سرعت جوانه‌زنی را نسبت به پتانسیل صفر داشتند (جدول ۵). سرعت جوانه‌زنی یکی از شاخص‌های ارزیابی تحمل به خشکی گیاهان در مرحله جوانه‌زنی است به‌طوری‌که ارقام دارای سرعت جوانه‌زنی بیشتر در شرایط تنش از شانس بیشتری برای سبز شدن

برخوردارند. به نظر می‌رسد کاهش سرعت جوانه‌زنی بـذر در شـرایط تنش رطوبتی بالاتر، ناشی از کنـدتر شـدن فعالیـت‌هـای متـابولیکی درون بذر و متعاقب آن افزایش مدت زمان خروج ریشه‌چـه از بـذر و درنتیجه کاهش سرعت جوانه‌زنی است (Ganjali *et al.*, 2017).

جدول ۳- درصد و سرعت جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه ریشه‌چه اکوتیپ‌های زیره سبز

Table 3- Germination percentage and rate and plumule and radicle length in cumin ecotypes

اکوتیپ **Ecotype**	درصد جوانه‌زنی **Germination percentage**	سرعت جوانه‌زنی **Germination rate (number.day^{-1})**	طول ساقه‌چه **Plumule length (cm)**	طول ریشه‌چه **Radicle length (cm)**
Quchan	17.7	2.0	1.2	1.9
Sabzevar	17.8	2.2	1.3	2.4
Khaf	25.0	1.9	1.8	2.8
Qaen	17.6	1.9	1.7	2.4
Torbat-e-Heydarieh	22.6	2.4	1.7	2.6
RZ19	20.9	2.1	1.4	2.2
LSD (0.05)	0.3	0.2	0.04	0.04

جدول ٤- درصد جوانه‌زنی اکوتیپ‌های زیره سبز در پتانسیل‌های مختلف آب

Table 4- Germination percentage of cumin ecotypes as affected by different water potentials

اکوتیپ **Ecotype**	سطوح پتانسیل آب **Potential (bar)**						
	0	**-1**	**-2**	**-3**	**-4**	**-5**	**-6**
Quchan	59.0	40.2	18.0	5.7	1.0	0.0	0.0
Sabzevar	54.0	37.0	22.8	7.0	2.5	1.0	0.0
Khaf	75.0	53.3	31.5	10.0	3.8	1.3	0.0
Qaen	47.5	35.0	27.0	9.0	3.5	1.0	0.0
Torbat-e-Heydarieh	68.0	48.3	26.8	9.3	3.8	2.0	0.0
RZ19	63.0	45.0	25.8	8.3	3.3	1.0	0.0
LSD (0.05)= 0.9							

جدول ۵- سرعت جوانه‌زنی اکوتیپ‌های زیره سبز در پتانسیل‌های مختلف آب

Table 5- Germination rate of cumin ecotypes as affected by different water potentials

اکوتیپ **Ecotype**	سطوح پتانسیل آب **Potential (bar)**						
	0	**-1**	**-2**	**-3**	**-4**	**-5**	**-6**
Quchan	5.1	4.5	2.6	1.4	0.7	0.0	0.0
Sabzevar	6.2	4.2	2.3	1.6	1.1	0.1	0.0
Khaf	4.3	3.4	2.4	1.8	1.4	0.5	0.0
Qaen	4.0	3.2	2.4	2.2	1.1	0.3	0.0
Torbat-e-Heydarieh	5.1	3.5	3.3	3.2	2.0	0.1	0.0
RZ19	5.4	4.1	3.0	1.5	0.8	0.1	0.0
LSD (0.05)= 0.5							

طول ساقه‌چه: با افزایش تنش خشکی طول ساقه‌چـه بـه‌طـور معنی‌داری (P≤۰/۰۱) کاهش یافت، به نحوی‌که بـا کـاهش پتانسـیل آب از صفر به ۳- و ۶- بار به‌ترتیب ۵۹ و ۱۰۰ درصد کاهش در طول ساقه‌چه ایجاد شد (جدول ۲). با افزایش تنش خشکی، طول ساقه‌چـه کلیـه اکوتیـپ‌هـا کـاهش یافـت (جـدول ۶)، دو اکوتیـپ خـواف و تربت‌حیدریه در شرایط عدم تنش طول ساقه‌چه بیشـتری نسـبت بـه سایر اکوتیپ‌ها داشتند، ولـی کـاهش پتانسـیل آب بـه ۴- بـار سـبب کاهش طول ساقه‌چه اکوتیپ‌های مذکور به میزان ۸۰ درصد نسـبت به پتانسیل صفر شد، در حالی‌که کاهش طـول سـاقه‌چـه در اکوتیـپ قائن در شرایط مشابه حدود ۵۸ درصد بود (جـدول ۶). گـزارش شـده است که در شرایط تنش خشکی، تجمع ماده خشک در بافت ساقه‌چه افزایش یافته و رابطه مستقیمی بین میزان تجمع ماده خشک و رشـد ساقه‌چه گیاهان متحمل وجود دارد. ارقامی که بتوانند در شرایط تنش خشکی طول ساقه‌چه خود را نسبت به سایر ارقام بیشتر افزایش دهند یا افت طول ساقه‌چه در آن‌ها با افزایش تـنش خشـکی کمتـر باشـد، گیاهچه‌های مقـاوم نسـبت بـه تـنش خشـکی بـه حسـاب مـی‌آینـد (Emmerich & Hardgree, 1990). در شرایط تنش، مقدار آن گروه از پروتئین‌های دیواره سلولی که در طویل شدن و رشـد سـلول نقـش

دارند کاهش و در عوض برخی از ترکیبات پکتینی که موجب نرم شدن دیواره سلول می‌شود، افزایش می‌یابند (Marchner, 1995). به‌علاوه در شرایط تنش خشکی کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها در نتیجه جذب کمتر آب توسط بذر سبب کاهش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌گردد (Ganjali *et al.*, 2017). در مجموع به نظر می‌رسد که اکوتیپ قائن از نظر این صفت نسبت به سایر اکوتیپ‌ها برتری داشته است.

جدول ٦- طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) اکوتیپ‌های زیره سبز در پتانسیل‌های مختلف آب

Table 6- Plumule length (cm) of cumin ecotypes as affected by different water potentials

اکوتیپ Ecotype	سطوح پتانسیل آب Potential (bar)						
	0	**-1**	**-2**	**-3**	**-4**	**-5**	**-6**
Quchan	3.3	2.2	1.4	1.1	0.5	0.0	0.0
Sabzevar	2.3	2.5	2.2	1.8	0.5	0.0	0.0
Khaf	4.4	3.6	2.6	1.2	0.9	0.0	0.0
Qaen	3.1	2.8	2.4	2.1	1.3	0.0	0.0
Torbat-e-Heydarieh	4.1	2.9	2.5	1.5	0.8	0.0	0.0
RZ19	3.3	2.8	2.3	1.1	0.7	0.0	0.0
LSD (0.05)= 0.1							

طول ریشه‌چه: تأثیر پتانسیل آب بر طول ریشه‌چه اکوتیپ‌های زیره سبز معنی‌دار (P≤۰/۰۱) بود (جدول ۱) و با افزایش تنش خشکی طول ریشه‌چه کاهش یافت، به نحوی‌که با کاهش پتانسیل آب از صفر به ۴- بار، میانگین طول ریشه‌چه ۷۳ درصد کاهش داشت (جدول ۲). تفاوت اکوتیپ‌ها نیز از نظر طول ریشه‌چه معنی‌دار (P≤۰/۰۱) بود و اکوتیپ‌های خواف و قوچان به‌ترتیب بیشترین و کمترین طول ریشه‌چه را داشتند (جدول ۳). هرچند با افزایش تنش خشکی طول ریشه‌چه درکلیه اکوتیپ‌ها به‌طور معنی‌داری (P≤۰/۰۱) کاهش یافت، اما کاهش طول ریشه‌چه در اکوتیپ‌های قوچان و سبزوار در پتانسیل ۴- بار نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب حدود ۸۰ و ۷۸ درصد بود، در حالی‌که کاهش این صفت در اکوتیپ‌های قائن و RZ19 در شرایط مشابه حدود ۵۷ و ۶۰ درصد بوده است (جدول ۷). به نظر می‌رسد با افزایش تنش و کاهش آب قابل دسترس بذر جهت جوانه‌زنی، سرعت فعالیت‌های متابولیکی داخل بذر جهت جوانه‌زنی و به دنبال آن رشد ریشه‌چه کاهش می‌یابد. کاهش طول ریشه‌چه در اثر تنش خشکی توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Abdi *et al.*, 2014; Kafi *et al.*, 2006) ضمن این‌که تجمع ماده خشک در بافت‌های ذخیره‌ای ریشه‌چه اکوتیپ‌های متحمل در شرایط تنش بیشتر ذکر شده است (Emmerich & Hardgree, 1990).

جدول ۷- طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) اکوتیپ‌های زیره سبز در پتانسیل‌های مختلف آب

Table 7- Radicle length (cm) of cumin ecotypes as affected by different water potentials

اکوتیپ Ecotype	سطوح پتانسیل آب Potential (bar)						
	0	**-1**	**-2**	**-3**	**-4**	**-5**	**-6**
Quchan	4.6	3.9	2.8	1.1	0.9	0.0	0.0
Sabzevar	5.9	4.3	3.1	2.5	1.3	0.0	0.0
Khaf	6.3	5.4	3.1	2.8	1.7	0.7	0.0
Qaen	4.9	4.7	2.7	2.5	2.1	0.0	0.0
Torbat-e-Heydarieh	6.1	4.2	3.3	2.9	1.5	0.0	0.0
RZ19	4.5	3.4	3.2	2.2	1.8	0.0	0.0
LSD (0.05)= 0.1							

رتبه‌بندی اکوتیپ‌ها: رتبه‌بندی اکوتیپ‌ها نشان داد که در مجموع صفات مورد مطالعه، اکوتیپ‌های خواف و تربت حیدریه بهترین امتیاز را به خود اختصاص داد و اکوتیپ قوچان در پایین‌ترین رتبه قرار گرفت (جدول ۸). مطالعه کافی و همکاران (Kafi *et al.*, 2005) بر روی جوانه‌زنی ۱۲ ژنوتیپ عدس نیز نشان داد که اکوتیپ محلی رباط واکنش مطلوب‌تری را در مقابله با تنش خشکی از خود نشان داد. در بررسی نظامی و همکاران (Nezami *et al.*, 2010) بر روی ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های متحمل به سرمای عدس در مرحله جوانه‌زنی نیز مشاهده شد که ژنوتیپ‌های MLC20 و MLC7 به‌ترتیب بالاترین و کمترین رتبه را به خود اختصاص دادند.

تحمل به خشکی در طول مراحل رشد گیاه یکسان نیست، ولی آن دسته از اکوتیپ‌هایی که قادرند در پتانسیل‌های آب کم، بهتر آب

جذب کرده و به‌طور مناسبی جوانه‌زنی داشته باشند احتمالاً درصد سبز و استقرار مناسبی نیز خواهند داشت. ضمن این‌که در شرایط کاشت پاییزه تحمل به دماهای پایین نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین به نظر می‌رسد که در شرایط کمبود رطوبت و دمای پایین ابتدای فصل پاییز، اکوتیپ‌های خواف و تربت حیدریه جوانه‌زنی بهتری داشته باشند. با وجود این بررسی سبز اکوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و دمای کم، اطلاعات ما را از چگونگی ارتباط بین جوانه‌زنی و سبز مزرعه‌ای اکوتیپ‌های زیره سبز بهبود خواهد بخشید.

جدول ۸- رتبه‌بندی اکوتیپ‌های زیره سبز بر اساس صفات مختلف مورد مطالعه

Table 8- Ecotypes ranking based on studied traits

اکوتیپ Ecotype	سطوح پتانسیل آب Potential (bar)				
	رتبه درصد جوانه‌زنی Rank of germination percentage	رتبه سرعت جوانه‌زنی Rank of germination rate	رتبه طول ساقه‌چه Rank of plumule length	رتبه طول ریشه‌چه Rank of radicle length	رتبه نهایی Final rank
Quchan	4	2.5	5	5	16.5
Sabzevar	4	2.0	3	4	13.0
Khaf	1	3.0	1	1	6.0
Qaen	4	3.0	3	2	12.0
Torbat-e-Heydarieh	2	1.0	2	2	7.0
RZ19	3	2.0	4	3	12.0
LSD (0.05)= 0.1					

References

1. Abdi, H., Bihamta, M. R., Aziz Ov, E., & Chogan, R. (2014). Investigation effect of drought stress level of PEG 6000 on seed germination principle and its relation with drought tolerance index in promising lines and cultivars of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(4), 582-596. https://doi.org/10.29252/jcb.9.21.139
2. Alvarado, V., & Bradford, K. (2002). A hydrothermal time model explains the cardinal temperature for seed germination. *Plant, Cell and Environment*, *25*, 1061-1069. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00894.x
3. Amirnia, R., & Ghiyasi, M. (2016). Reducing drought stress effects in germination and establishment stage of cumin (*Cuminum Cyminum* L.) by seed priming. *Journal of Applied Biological Sciences*, *10*(3), 24-26.
4. Andalibi, B., Zangani, E., & Hagh Nazari. (2005). Effects of water stress on germination indices in six rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, *36*(2), 457-463.
5. Boroumand Rezazadeh, Z., & Koocheki, A. (2005). Germination response of ajowan, fennel and dill to osmotic potential of sodium chloride and polyethylene glycol 6000 in different temperature regimes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *3*(2), 207-218. https://doi.org/10.22067/gsc.v3i2.1304
6. Bukhtiar, B., & Shaykra, A. (1995). Drought tolerance in lentil. Differential genotypic response to drought. *Journal of Agricultural Research (lahore)*, *28*, 117-126.
7. Emmerich, W. E., & Hardgree, S. P. (1990). Polyethylene glycol solution contact effect on seed germination. *Agronomy Journal*, *82*, 1103-1107. https://doi.org/10.2134/agronj1990.00021962008200060015x
8. Ganjali, A. R., Ajorlo, M., & Khaksafidi, A. (2017). The Effect of Drought and Salinity Stress on Seed Germination of (*Alyssum Homalocarpum*). *Journal of Crop Breeding*, *9*(21), 139-146. https://doi.org/10.29252/jcb.9.21.139
9. Ghajari, A. Gh., & Zeinali, E. (2003). Effects of salinity and drought stresses on germination and seedling growth of two cotton cultivars. *Seed and Plant*, *18*(4), 506-509. https://doi.org/10.22092/spij.2017.110760
10. Ghavami, F., Malboobi, M. A., Ghannadha, M. R., Yazdi samadi, B., Mozaffari, J., & Jafar aghaei, M. (2004). An Evaluation of Salt Tolerance in Iranian Wheat Cultivars at Germination and Seedling Stages. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, *35*(2), 453-464.
11. Jafarnezhad, A., Taheri, G., & Rahchamanie, A. A. (2009). Study of drought tolerance in four wheat genotypes, at germination stage. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, *2*(1), 73-85. https://doi.org/10.22077/escs.2009.54
12. Jajarmi, V. (2012). Effect of drought stress on germination indices in seven wheat cultivars (*T. aestivum* L.). *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, *8*(4), 183-192.
13. Jefferies, R. A. (1994). *Physiology of crop response to drought*. In: Haverkort A.J. and MacKerron D.K.L. (Eds.), Potato ecology and modeling of crop under conditions limiting growth. Kluwer Academic Press. pp. 61-74.
14. Kabiri, R., Farahbakhsh, H., & Nasibi, F. (2012). Effect of drought stress and its interaction with salicylic acid on black cumin (*Nigella sativa*) germination and seedling growth. *World Applied Sciences Journal*, *18*(4), 520-527. https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2012.18.04.878

15. Kafi, M., Nezami, A., Hosaini, H., & Masomi A. (2005). Physiological effects of drought stress by polyethylene glycol on germination of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *3*(1), 69-80. https://doi.org/10.22067/gsc.v3i1.1293
16. Kafi, M., Rashed Mohassel, M. H., Koocheki, A., & Nassiri, M. (2006). *Cumin* (*Cuminum cyminum*): *Production and Processing*. CRC Press.
17. Lobato, A. K. S., Oliveira Neto, C. F., Costa, R. C. L., Santos Filho, B. G., F. Silva, K. S., Cruz, F. J. R., Abboud, A. C. S., & Laughinghouse, H. D. (2008). Germination of sorghum under the influences of water restriction and temperature. *Agricultural Journal*, 3(3), 220-224.
18. Marchner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press.
19. Michel, B. E., & Kaufmann, M. R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, *51*, 914-916. https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914
20. Mut, Z., & Akay, H. (2010). Effect of seed size and drought stress on germination and seedling growth of naked oat (*Avena sativa* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *16*, 459-467.
21. Nezami, A.; Khamadi, N., Khajeh hosseini, M., & Bagheri, A. (2010). Evaluation of Drought Tolerance in Cold Hardy Lentils (*Lens culinaris* medik.) at Germination Stage. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *8*(1), 138-146. https://doi.org/10.22067/gsc.v8i1.7404
22. Willenborg, C. J., Wildeman, J. C., Miller, A. K., Rossnagel, B. G., & Shirtliffe. S. J. (2005). Oat germination characteristics differ among genotypes, seed size and osmotic potentials. *Crop Science*, *45*, 2023-2029. https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0722